

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ РАЗРАБОТКИ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ ПРИ ОПЕРЕЖАЮЩЕМ ОБВОДНЕНИИ СКВАЖИН

С учетом известных и вновь полученных данных методами ЯМР, рентгено-дифрактометрии и традиционными исследованиями ядра рассматриваются причины преждевременного обводнения залежей нефти. Осуществлен анализ этих причин на примере бобриковской залежи Аканского месторождения нефти. Даны рекомендации по рационализации системы разработки этой залежи.

Ключевые слова: разработка, обводненность, дебит, водонефтяная зона (ВНЗ), анализы ядра, гидрофобность, проницаемость, вязкость.

Разработка многих месторождений и залежей высоковязких нефтей на территории Республики Татарстан сопровождается высокими темпами их обводненности. Основными причинами преждевременного обводнения являются, прежде всего, особенности геологического строения залежей и отсутствие опыта их разработки.

Для решения этой проблемы авторами проанализирован и обобщен геолого-геофизический и геолого-промысловый материал бобриковской залежи Аканского месторождения нефти, расположенного на западе восточного борта Мелекесской впадины, проведен анализ текущего состояния разработки залежи и эффективности проводимых геолого-технических мероприятий. Отобраны образцы ядра из продуктивной части бобриковского пласта скважин №№ 1933, 2151 и проведены лабораторные исследования ядра.

Залежь нефти бобриковского горизонта Аканского месторождения была открыта поисковой скважиной № 27 в 1959 году. Начальное пластовое давление составило 15,3 МПа. В июне 2003 г. эта скважина по отложениям бобриковского горизонта была введена в пробную эксплуатацию. При этом пластовое давление к концу года снизилось до 12,6 МПа. Годовая добыча нефти составила 2549 т, воды – 168 т, средний дебит нефти – 12 т/сут, жидкости – 12,8 т/сут, обводненность – 6,2 %.

В 2004 г. по бобриковскому объекту был сформирован элемент разработки путем введения в эксплуатацию пяти новых скважин (1925, 1928, 1930, 1931 и 1937). Среднее пластовое давление по шести замерам в 4-х скважинах, в среднем по элементу, составило 12,3 МПа. При величине начального пластового давления в 15,3 МПа падение давления составило за год 3 МПа или – 19,6 %. Из сформированного элемента разработки добыто нефти 11158 т, воды – 2855 т, средний дебит нефти составил 8,5 т/сут, жидкости – 10,7 т/сут, обводненность равна 20,4 %.

На фоне разработки залежи нефти бобриковского горизонта без поддержания пластового давления фиксируются факты быстрого обводнения скважин. Например, скважина № 1930 была введена в эксплуатацию в сентябре 2004 г. с дебитом жидкости 9,5 т/сут, обводненностью 60,5 %, а в декабре этого года обводненность возросла до 98,8 %. Скважина расположена в краевой водонефтяной части залежи. Общая нефтенасыщенная толщина пласта 1,9 м, перфорирован 1 м в кровельной части. Скважина

переведена на вышележащий (башкирский) пласт.

Далее, скважина № 1937 введена в эксплуатацию в марте 2004 г. с дебитом жидкости 9,4 м³/сут и обводненностью 3,8 %. Интенсивное обводнение началось в мае, а в декабре этого же года возросло до 65,2 %. Скважина № 1937 также, как и скважина № 1930, расположена в краевой водонефтяной части залежи. Эффективная нефтенасыщенная толщина пласта C_1bb^3 равна 3,2 м (состоит из 2 пропластков), пласта C_1bb^2 – 1,4 м, из них вскрыто перфорацией верхние 0,7 м. Нижележащий пласт C_1bb^1 – водоносный. Расстояние от подошвы нефтенасыщенного пласта C_1bb^2 до кровли водоносного C_1bb^1 составляет 6,9 м. Таким образом, причиной обводнения пласта C_1bb^3 , по всей видимости, является подтягивание законтурных вод.

В 2005 г. было выполнено 5 замеров пластового давления в 3 скважинах. Среднее значение пластового давления составило 10,5 МПа, или 68,6 % от начального. Накопленная добыча нефти по состоянию на 01.07.2005 г. составила 24033 т, воды – 5098 т. Средний дебит нефти составил 10,5 т/сут, жидкости – 12,6 т/сут, обводненность достигла 16,7%. В этот период была введена в эксплуатацию скв. № 1927 с горизонтальным стволом, равным 97 м, средний дебит нефти которой составил 28,8 т/сут, жидкости – 29,6 т/сут.

Для выявления причин быстрого обводнения продукции скважин была построена карта первоначальной обводненности (Рис. 1), показывающая, что присутствие воды в продукции скважин напрямую зависит от их близости к ВНК, причём отдельные скважины (например, № 1930) сразу дали при опробовании воду, хотя по данным ГИС нефтенасыщенность продуктивных пород составляет 83,1 % и нижний уровень перфорации находится на абсолютной отметке – 1248,6 м, что выше ВНК на 4,4 м.

В процессе эксплуатации залежи бобриковского горизонта обводненность продукции к сентябрю 2006 г. составила в среднем более 60%.

По результатам пробной эксплуатации сделаны следующие выводы:

- в скважинах снижается пластовое и забойное давление, т. к. закачка воды по объекту не ведется;
- достаточно резко падает дебит нефти в первые месяцы работы отдельных скважин;
- существенно увеличивается обводненность продукции в первые месяцы работы некоторых скважин.

Для анализа причин опережающего обводнения сква-

жин при разработке продуктивного пласта бобриковского горизонта были выполнены основные графические построения с целью модельного представления геологического строения залежи бобриковского горизонта, находящейся в промышленной разработке. К ним относятся: структурная карта по кровле продуктивных отложений бобриковского горизонта (Рис. 2), карта эффективных нефтенасыщенных толщин бобриковского горизонта (Рис. 3), карта толщины перемычки между бобриковским горизонтом и турнейским ярусом (Рис. 4), а также геологические профили по линиям А-Б (Рис. 5), В-Г (Рис. 6).

Бобриковский горизонт сложен песчаниками кварцевыми мелкозернистыми, алевритистыми, глинистыми и алевритистыми с прослоями углисто-глинистых сланцев и углей. Цемент контактовый, регенерационный, участками поровый, по составу глинисто-карбонатный. Размер пор от 0,01 до 0,25 мм. Уплотненные прослои, обладающие низкими коллекторскими свойствами, как правило, имеют карбонатный по составу цемент. Эффективная суммарная нефтенасыщенная толщина составляет от 2,2 м до 7,6 м. Общая толщина – от 7,0 м до 24,0 м.

Нефть бобриковского горизонта представлена одним анализом поверхностной пробы нефти из скважины № 27. По данным лабораторных исследований плотность нефти составляет 0,9446 г/см³, кинематическая вязкость – 17,86 ВЭУ, содержание серы – 4,8 %, парафина – 3,7 %, смол – выше 60 %, что характеризует нефть бобриковского горизонта как тяжелую, высокосернистую, парафинистую, высокосмолистую, с низким газосодержанием.

Кроме того, были проведены лабораторные исследования образцов керн, поднятого из продуктивной части бобриковского горизонта скважин № 1933 и № 2151, на предмет определения вещественного состава матрицы, цемента пород и степени насыщения порового пространства традиционными видами лабораторных анализов, методом ядерно-магнитного резонанса и рентгено-дифрактометрическим методом.

Значение коэффициента пористости для продуктивной

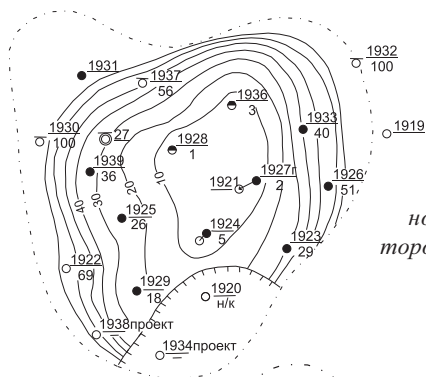


Рис. 1. Карта первоначальной обводненности Аканского месторождения нефти.

Рис. 2. Структурная карта по кровле продуктивных отложений бобриковского горизонта Аканского месторождения нефти. 1 – скважины, работающие на других горизонтах; 2 – скважины, эксплуатирующие C_{1bb} .

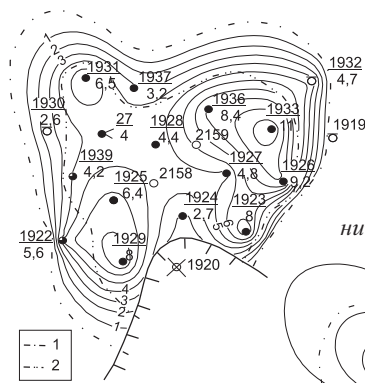
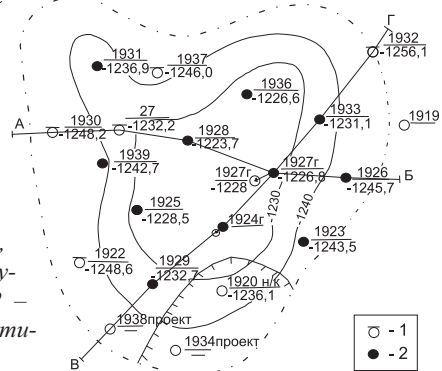
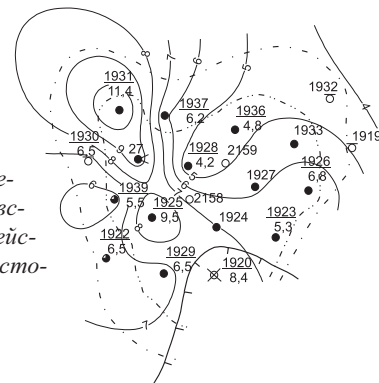


Рис. 3. Карта эффективных нефтенасыщенных толщин бобриковского горизонта Аканского месторождения нефти. 1 – внешний контур нефтенасыщенности; 2 – внутренний контур нефтенасыщенности.

Рис. 4. Карта толщины перемычки между бобриковским горизонтом и турнейским ярусом Аканского месторождения нефти.



части пласта колеблется в пределах 18 – 23 %, что говорит о хорошей петрофизической основе на предмет определения пористости по ГИС. Проницаемость в лабораторных условиях определялась перпендикулярно напластованию в силу небольшой высоты представленных образцов керн (1,0 – 1,5 см) при их больших диаметрах. Однако такое ограничение по размерам керн дало уникальную возможность выяснить, что проницаемость перпендикулярно напластованию бобриковских отложений характеризуется весьма высокими значениями (до 2000 мД), что говорит о том, что при разработке залежи наиболее интенсивное перемещение воды и нефти происходит именно в вертикальном направлении. Ранее проведенные исследования по керну проницаемости, определенной в рамках подсчета запасов, в среднем составили 1850 мД, по ГИС – 1110 мД.

Также были изучены гидрофильные и гидрофобные свойства пород и определен их показатель смачиваемости, выражающий интегральную характеристику смачиваемости внутрипоровой поверхности образца породы. Известно, что в гидрофильных коллекторах процесс вытеснения нефти из пустотного пространства при прочих равных условиях и высокой проницаемости протекает значительно легче, чем в гидрофобных коллекторах.

Кварц, которым, в основном, представлены песчаники бобриковского горизонта, по своей природе гидрофилен. В то же время все нефтенасыщенные породы в значительной степени гидрофобизованы вследствие насыщения их нефтью и часто очень плохо смачиваются водой или же обладают устойчивой гидрофобной поверхностью. Это подтверждается показателем смачиваемости песчаников бобриковского горизонта, характеризующего их как преимущественно гидрофобные, и данными нефтенасыщенности по ГИС (90% и более). С другой стороны, несмотря на значительную гидрофобизацию пород поверхностно-активными веществами нефти, на поверхности минералов остаются гидрофильные микроучастки, хорошо смачиваемые водой. По этой причине вода может проникать с той или иной скоростью в нефтенасыщенные образцы под действием лишь капиллярных сил, что подтверждается опытами по капиллярному пропитыванию естественных кернов, насыщенных нефтью и остаточной водой. Ка-

пиллярные процессы пропитывания и перераспределения жидкостей в пористой среде в пластовых условиях протекают значительно интенсивнее, чем в атмосферных условиях, т. к. с повышением температуры, давления и с увеличением количества растворенного газа в нефти степень гидрофильности образца возрастает вследствие уменьшения адсорбции компонентов нефти стенками породы. Это означает, что нефть не полностью гидрофобизует поверхность минералов также и в пластовых условиях.

Все это дает основание предполагать, что поверхность поровых каналов нефтесодержащих пластов неоднородна по смачиваемости. Поэтому, несмотря на гидрофобизацию пористой среды нефтью, на поверхности минеральных зерен остается значительное количество гидрофильных участков и пластовая вода в той или иной степени смачивает породы многих коллекторов.

Высокие значения проницаемости и гидрофобизация пород позволяют предположить, что в результате эксплуатации скважин вытеснение высоковязкой нефти бобриковского горизонта привело к тому, что в начале разработки из наиболее крупных пор нефть вытеснилась, а в освобожденное поровое пространство пластовая вода стала поступать быстрее, чем вытеснялась оставшаяся нефть.

Активность краевых вод при небольшом размере залежи и высокие фильтрационные параметры пласта приводят к быстрому прорыву воды по подошве к центру залежи. Изоляционные работы не приводят к достижению желаемого результата ввиду кратковременности эффекта.

Приняв во внимание, что глинистая составляющая пород представлена исключительно каолинитом, не разбухающим под действием воды, можно предположить, что в результате применения гидродинамических методов не будут уменьшаться размеры поровых каналов. То есть, не будет препятствий свободной фильтрации жидкостей.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Разработка бобриковской залежи нефти на Аканском месторождении ведётся из высокопористого, высокопроницаемого терригенного коллектора, характеризующегося преимущественно гидрофобным типом поверхности. Глинистая составляющая песчаников не мешает свободному перемещению воды, что приводит к быстрому прорыву воды по подошве к центру залежи.

2. Разработка бобриковской залежи нефти на Аканском месторождении осложнена наличием высоковязкой, тяжелой, высокосернистой, парафинистой, смолистой нефти с низким газосодержанием.

3. Интенсивному обводнению со стороны законтурной части месторождения подвержена 5-метровая по высоте часть бобриковской залежи, лежащая между стратоизогипсами – 1248 м и – 1253 м. Этот факт необходимо учитывать при размещении эксплуатационных скважин, как в части добычи нефти, так и в части выбора интервала перфорации относительно указанных абсолютных отметок.

4. Учитывая небольшой размер залежи нефти бобриковского горизонта, следует воздержаться от внутриконтурного заводнения. Целесообразнее проводить регулирование разработки через отборы жидкости, особенно по скважинам, расположенным вблизи контуров нефтеносности.

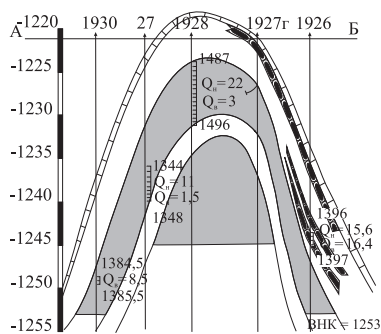


Рис. 5. Геологический профиль по линии А-В Аканского месторождения.

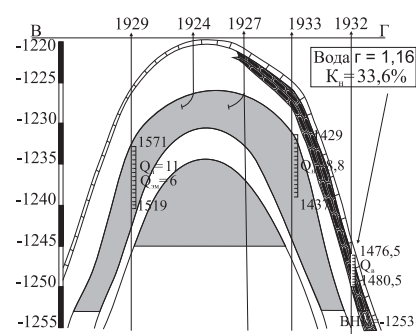


Рис. 6. Геологический профиль по линии В-Г Аканского месторождения.

5. При вскрытии бобриковских песчаников следует обращать внимание на рецептуру буровых растворов, исключая загрязнение призабойной зоны.

Итак, основные причины быстрого обводнения скважин бобриковского горизонта Аканского месторождения – особенности геологического строения залежи, гидрофобность коллектора и высокая вязкость нефти – выявлены. Наиболее благоприятной для размещения скважин является центральная часть залежи. Причём наибольший эффект, в плане получения высоких дебитов, достигается при бурении горизонтальных скважин. Законтурное заводнение также не эффективно в связи с широким внедрением огромных масс воды в залежь по мере отбора запасов нефти.

В принципе, наиболее оптимальным с позиции достижения высокого коэффициента нефтеотдачи, но огромным по затратам, явился бы вариант применения тепловых методов на залежи, который бы позволил снизить подвижность воды в силу снижения вязкости нефти. Однако о таком варианте остаётся только мечтать, так как заранее predetermined его чрезвычайно высокая стоимость.

С другой стороны, опять-таки дорогостоящей по масштабам является идея полной изоляции залежи от её законтурной части, но такое предложение практически невозможно осуществить в полной мере. Однако в небольших масштабах, на отдельных участках залежи такое мероприятие – ограничение водопритока из законтурной части – возможно. Например, продолжать отбирать жидкость из добывающих скважин, полностью обводнившихся и находящихся в приконтурной зоне. Это мероприятие будет способствовать уменьшению обводнённости скважин, находящихся выше по восстановлению пласта на данном участке залежи. Другой вариант – применить технологию «обратного конуса», которая позволяет отбирать безвод-



Рис. 7. Карта мероприятий по оптимизации системы разработки бобриковских отложений на Аканском месторождении нефти. 1 – скважины, работающие на другие горизонты; 2 – скважины, эксплуатирующие С₁bb; 3 – проектный ствол горизонтальной скважины; 4 – скважины, в которых рекомендуется форсированный отбор жидкости; 5 – скважины, в которых рекомендуется применение технологии «обратного конуса».



Дорогие Коллеги!

Сердечно поздравляю Коллектив кафедры геологии нефти и газа Казанского государственного университета с 55-летним юбилеем!

С момента основания, кафедра, осуществляя свою деятельность, неуклонно следует своей миссии: обеспечивать расширенное воспроизводство интеллектуальных ресурсов промышленного комплекса России, быть локомотивом научно-технического прогресса нефтегазового производства, как важнейшего фактора устойчивого развития страны.

Невозможно не отметить преподавательский состав кафедры. Это были и есть высокоэрудированные специалисты своего дела, любящие и знающие свое дело, многие из них были опытными геологами-производственниками. Преподаватели всегда щедро делились и делятся своим опытом и знанием со студентами, аспирантами, соискателями.

С самого начала существования коллектив кафедры не ограничивался преподавательской деятельностью, а занимался также научно-исследовательской работой.

За всю историю кафедры созданы не только несколько научно-исследовательских лабораторий, научно-учебная база, но и готовятся высококвалифицированные специалисты, подтверждающие высокий уровень своих знаний, приобретенных за годы учебы, и достойно несущие имя выпускника кафедры геологии нефти и газа Казанского университета в различных организациях Татарстана, Западной и Восточной Сибири, Якутии и других уголков России.

Желаю Вам и коллективу факультета дальнейших успехов в достижении новых производственных и профессиональных вершин, свершения намеченных планов, а также продолжать традиции предшественников факультета и готовить выпускников, работающих на благо промышленности России и преданных раз и навсегда выбранной профессии – геолог-нефтяник.

Мухаметзянов Р.Н.

Советник Генерального директора по науке ОАО «Газпромнефть»

Уважаемые коллеги!

От имени выпускника поздравляю кафедру геологии нефти и газа с 55-летием!

Прошедшие годы позволяют высоко оценить достижения Вашей кафедры. За эти годы подготовлено большое количество специалистов, которые с честью работают на многих предприятиях нашей Родины.

В дни вашего юбилея примите мои поздравления и искренние пожелания всему коллективу кафедры!

А.С. Якимов

Первый заместитель генерального директора ОАО «РИТЭК»

Окончание статьи В.В. Ананьева, В.М. Смелкова, А.В. Кальчевой «Проблемы оптимизации системы...»

ную нефть или нефть с небольшим количеством воды из вышележащей части пласта.

На основании проведенных исследований и полученных результатов была предложена программа мероприятий по оптимизации системы разработки бобриковской залежи на Аканском месторождении (Рис. 7), которая сводится к следующему:

1. Изучить возможность бурения горизонтальной скважины в центральной части залежи. Это может быть либо боковой ствол из скважин №№ 1925, 1928, 1936, либо отдельная горизонтальная скважина в районе между скважинами №№ 1924, 1925, 1927, 1928.

2. Провести экспериментальные работы:

– по форсированному отбору жидкости из скважин №№ 1923, 1926 в зоне ВНЗ вдоль внешнего контура нефтеносности с целью создания барьера для поступающих в залежь краевых вод к горизонтальным скважинам №№ 1924, 1927;

– по применению технологии «обратного конуса» для предотвращения обводнения в ВНЗ. Эту технологию можно отработать либо на скважинах №№ 1922, 1930, 1937, непосредственно находящихся в ВНЗ, либо на скважинах №№ 1929, 1931, 1939, находящихся в непосредственной близости от ВНК.

Таким образом, составленная программа работ по оптимизации системы разработки бобриковской залежи нефти, включает в себя бурение горизонтальной скважины, отбор жидкости из приконтурных скважин и применение так называемой технологии «обратного конуса» на обводнившихся скважинах.

V.V. Ananiev, V.M. Smelkov, A.V. Kalcheva. Optimisation of oil field development under premature flooding conditions.

The causes of premature flooding of petroleum deposits are analysed using existing and new data including those from the Bobrikovsky deposit of the Akanskoye oil field. The authors propose a development optimisation programme for the deposit.

Key words: development of deposits, flooding, discharge, oil/water zone, core analysis, hydrophobicity, horizontal well, inverse cone.

Виктор Валентинович Ананьев

Доцент кафедры геологии нефти и газа КГУ, руководитель Департамента недропользования Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан, к.г.-м.н. Научные интересы: поиск, разведка и проектирование разработки нефтяных месторождений.

420008, Россия, Казань, Ул. Кремлевская, 18. Тел.: (843) 296-85-52.



Алла Владимировна Кальчева

Зав. лабораторией кафедры геологии нефти и газа КГУ.

420008, Россия, Казань, Ул. Кремлевская, 18. Тел.: (843) 233-79-96.

